

# 충격음 저감재의 동특성과 시험실 경량충격음레벨 저감량의 상관관계

## Correlation between Dynamic Characteristics of Isolation Material and Impact Noise Reduction of Light-weight Impact Source

。 이주원\* · 정갑철\*\* · 권영필\*\*\*

。 J. W. LEE · G. C. JEONG · Y. P. KWON

**Key Words** : Isolation Material(충격음 저감재), Dynamic Elastic Modulus(동탄성계수), Loss Factor(감쇠계수), Impact Noise Reduction of Light-weight Impact Source(시험실 경량충격음레벨 저감량)

### ABSTRACT

충격음 저감재의 동탄성계수와 감쇠계수는 차단성능을 평가하는데 있어 중요한 물성치가 된다. 저감재의 동탄성계수는 뜬바닥구조의 고유진동수를 결정짓게 되며, 저감재의 동탄성계수가 높은수록, 즉 고유진동수가 높아짐에 따라 시험실 경량충격음레벨 저감량은 지수함수적으로 감소됨을 실험을 통해 알 수 있다. 또한, 저감재를 포함한 뜬바닥구조를 1자유도 진동계로 가정한 이론값과 시험실 경량충격음레벨 저감량의 결과가 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났으며, 이 때 감쇠계수의 영향은 반드시 고려되어야 한다.

### 1. 서론

상하층 세대간의 바닥충격음 문제를 줄이기 위해 2004년 상반기부터 사업계획 승인을 신청하는 아파트를 대상으로하여 바닥충격음 기준을 적용할 계획으로 있다. 이에 따라 국내 각 건설업체에서는 법적 규제치에 대한 준비 작업으로 아파트에 충격음 저감재를 시공하기 시작하였다. 충격음 저감재는 현재 그 종류가 수 십가지에 달하고 있으며, 음향성능 향상을 위해 제품개발이 경쟁적으로 이루어지고 있다.

저감재의 성능을 평가하는 여러 항목 중 동특성 즉, 동탄성계수와 감쇠계수는 가장 중요한 의미를 지니고 있는 물성값으로 다수의 시험결과로 볼 때 적절히 낮은 동탄성계수를 지닌 제품이 바닥충격음 저감에 유리하다는 결론을 얻고 있다. 그러나, 어느 정도 범위내의 동탄성계수가 충격음 차단성

능에 효과적이라고만 판단할 뿐, 유사한 값을 지닌 제품들에 대한 우열성을 가리기는 쉽지 않다. 또한, 감쇠계수의 영향도 정확히 파악하지 못하고 있다.

따라서, 본 논문에서는 동탄성계수와 감쇠계수를 실험을 통해서 측정하고 이 값을 바탕으로 뜬바닥 구조 전체를 1자유도 진동계로 가정한 이론값과 잔향실에서 실험한 결과값을 상호 비교한다. 그리고, 저감재의 동탄성계수와 시험실 경량충격음레벨 저감량과의 상관관계를 분석하고자 한다.

### 2. 충격음 저감재의 동탄성계수 및 고유진동수

국내에서 생산된 13종의 충격음 저감재에 대하여 동탄성계수 및 감쇠계수 ISO 9052-1 및 JIS A 6321에 따라 측정하였으며, 각 제품당 3개의 시험편에 대하여 그 평균값을 취하였다. 저감재들의 재질은 발포 P.E.(Polyethylene) 계열, 발포고무 계열, 폴리에스테르 계열, 스티로폼 계열 등으로 다양하며, 현재 국내에서 유통되고 있는 저감재들의 대부분은 이 재질들을 바탕으로 한 것이다. 일부 압면(rockwool) 계열의 저감재가 있긴 하나 흡수성 문

\* ㈜대우건설, 숭실대학교 대학원  
E-mail : sweep4@hanmail.net

\*\* ㈜대우건설

\*\*\* 숭실대학교 기계공학과

제 때문에 아직 사용이 되고 있지는 않다.

튼바닥 구조의 탄성계수는 튼바닥층의 굽힘탄성, 저감재의 탄성, 저감재 내부의 공기탄성, 바닥슬래브의 굽힘탄성이 상호 작용하는 것으로 생각할 수 있다. 그러나, 각 계수들간의 크기를 고려할 때 저감재와 저감재 내부의 공기탄성만을 고려하더라도 튼바닥 구조의 탄성계수를 표현할 수 있을 것이다. 충격음 저감재의 탄성계수는 임펄스 가진에 의한 진동 감쇠파형에 의해서 구할 수 있으며, 저감재 내부의 탄성계수는 체적탄성률로 결정되는 다음 식에 의해서 결정한다.)

$$k_a = \frac{\rho c^2}{d} \quad (1)$$

$\rho$  : 공기의 밀도(kg/m<sup>3</sup>),  $d$  : 저감재 두께(m)

실제로 저감재 내부의 음속  $c$  (m/s)는 공기중의 음속에 비해서 낮아질 것으로 예상되나 그 값을 정확히 구하는 것이 불가능하므로 공기중의 음속을 그대로 사용하기로 한다.

따라서, 저감재의 단위면적당 동탄성계수는 다음 식 (2)와 같이 계산하며, 이는 곧 튼바닥 구조의 탄성계수이다.

$$k = k_t + k_a \quad (2)$$

$k_t$  : 결보기의 단위면적당 동탄성계수(N/m<sup>2</sup>)

$k_a$  : 밀폐가스의 단위면적당 동탄성계수(N/m<sup>2</sup>)

저감재의 탄성특성 때문에 바닥슬래브에 대한 튼바닥구조의 진동장의 연성은 진동수에 따라 좌우되며 기본 고유진동수는 다음으로 근사화할 수 있다.

$$f_o \approx \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{\rho_s}} \quad (3)$$

$\rho_s$  : 튼바닥의 단위 면적당 질량(kg/m<sup>2</sup>)

$k$  : 단위 면적당 동탄성계수(N/m<sup>2</sup>)

**Table 1** 충격음 저감재 물성 시험값

충격음 저감재	단위면적당 동탄성계수	감쇠계수	고유진동수 (Hz)
A	22.6×10 <sup>6</sup>	0.20	63
B	24.6×10 <sup>6</sup>	0.27	66
C	25.7×10 <sup>6</sup>	0.23	68
D	29.1×10 <sup>6</sup>	0.19	72
E	31.5×10 <sup>6</sup>	0.27	75
F	38.5×10 <sup>6</sup>	0.15	83
G	39.9×10 <sup>6</sup>	0.20	84
H	43.6×10 <sup>6</sup>	0.28	88
I	48.9×10 <sup>6</sup>	0.28	93
J	56.0×10 <sup>6</sup>	0.50	100
K	61.0×10 <sup>6</sup>	0.32	104
L	71.3×10 <sup>6</sup>	0.55	113
M	76.9×10 <sup>6</sup>	0.56	117

고유진동수( $f_o$ ) 부근에서는 종종 튼바닥구조가 단일 바닥구조에 비해서 불리한 결과를 초래할 수도 있다. 그리고 이 영역에서는 충격음 차단성능이 충격음 저감재의 감쇠계수에 좌우된다. 또한, 고유진동수 이상의 주파수 영역에서는 고주파수로 갈수록 차단성능이 증대한다.

바닥충격음 시험시 사용되는 표준 중량충격원(Bang Machine)의 경우 Table 2에 나타냈듯이 충격 에너지스펙트럼이 옥타브밴드로 16Hz와 31.5Hz, 63Hz에 집중되어 있는 것을 알 수 있다. 옥타브밴드 63Hz는 하한주파수가 45Hz, 상한주파수가 90Hz이므로 Table 1에 나와 있는 저감재들 중 고유진동수가 90Hz 이하인 저감재들(A~H)은 표준 중량충격원 가진시 63Hz 대역에서 공진을 발생시킬 가능성이 크며, 이는 곧 튼바닥구조 전체가 하부의 바닥슬래브에 충격에너지를 그대로 전달하게됨을 의미한다.

물론, 균질한 보통콘크리트 바닥슬래브의 고유진동수는 20~40Hz 정도로 낮기 때문에 표준 중량충격원에 대하여 1차 공진되기는 쉽지 않다. 만약 저감재의 고유진동수가 상당폭 낮아져 31.5Hz 정도에서 1차 공진이 발생된다 하더라도 바닥충격음 시험시 측정주파수는 63Hz부터 수집되기 때문에 시험결과에 영향을 미치지 않는다. 실제로 아파트현장 시험시 실 중앙에서 제자리 보행시에는 상당한 바닥진동을 느낄 수 있으나, 시험결과로는 다소간의 음압레벨 상승에도 불구하고 예상보다 나

쁜 결과가 도출되지 않는 것도 이러한 이유일 것이다.

반면에, 표준 경량충격원의 경우는 Table 2에서 보듯이 125Hz 영역에서부터 에너지가 주로 발생됨을 알 수 있으며, 상기 표에서 고유진동수 90Hz 이하의 저감재들이 상대적으로 충격음 차단성능에 유리할 것으로 판단된다.

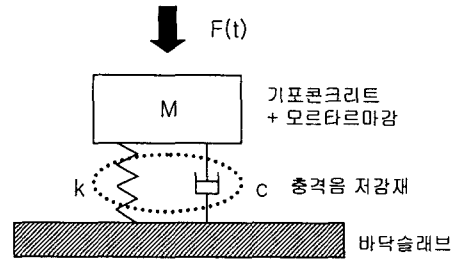


Fig. 1 뜬바닥구조의 1자유도 진동계

Table 2 경·중량충격원의 에너지스펙트럼<sup>2)</sup>

		옥타브밴드 중심주파수 (Hz)									
		16	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
경량	$F_{rms}(N)$	1.7	2.4	3.5	4.7	6.9	9.6	13	15	10	1.7
중량	$F_{rms}(N)$	108	104	40	10	4.5	1.6	0.6	-	-	-

※ 경량충격원(콘크리트바닥면, 반발계수 0.3, 단일펄스)  
중량충격원(반발계수 0.8, 단일펄스)

$$\tau = \frac{\sqrt{1 + (2\xi\eta)^2}}{\sqrt{(1 - \eta^2)^2 + (2\xi\eta)^2}} \quad (4)$$

$\eta = \frac{f}{f_0}$  : 고유진동수에 대한 가진주파수의 비

전달을  $\tau$ 로부터 차단성능을 데시벨 단위로 나타내면 다음과 같으며, 계산된 이론값을 실험실에서 시험에 의한 값과 비교하면 Table 3과 같다.

$$\Delta V = 20 \log\left(\frac{1}{\tau}\right) \quad dB \quad (5)$$

### 3. 감쇠계수를 고려한 차단성능 해석 및 실험

뜬바닥구조를 스프링-질량의 1자유도 진동계로 보고, 표준 경량충격원의 충격가진에 대한 바닥구조의 응답을 부족감쇠 강제진동으로 해석하고자 한다. 해석의 목적은 충격음 저감재의 중요 물성값인 동탄성계수와 감쇠계수를 알고 있을 때, 상부 뜬바닥에서의 충격에너지와 하부 바닥슬래브로 전달되는 에너지의 전달손실량을 산정하는데 목적이 있으며, 이는 곧 충격음 저감재의 차단성능 효과를 의미하는 것이다.

Fig. 1의 1자유도계에서 변수  $k$ 를 저감재의 동탄성계수(스프링정수)로 하고, 변수  $c$ 는 점성저항이다. 저감재 내부의 점성저항은 감쇠계수로서 표현되며, 전달을  $\tau$ 를 계산하는 다음 식 (4)<sup>3)</sup>에서  $\xi$ 를 저감재의 감쇠계수로 대입하였다. 이 감쇠계수가 계에서 갖는 역할은 하부 바닥으로의 진동에너지 전달을 감소시키는 것과 계의 공진시에 진동진폭을 감소시키는 역할을 한다.

Table 3 차단성능 이론값과 시험값 비교

충격음 저감재	식(4),(5)로부터 계산된 이론값(dB)	시험값(dB)	감쇠계수
A	23.9	23.1	0.20
B	21.5	21.3	0.27
C	22.4	21.8	0.23
D	23.0	21.7	0.19
E	20.0	20.0	0.27
F	22.4	19.8	0.15
G	20.5	19.2	0.20
H	17.8	19.4	0.28
I	17.3	17.9	0.28
J	13.0	18.4	0.50
K	15.0	17.6	0.32
L	11.3	17.3	0.55
M	10.9	18.0	0.56

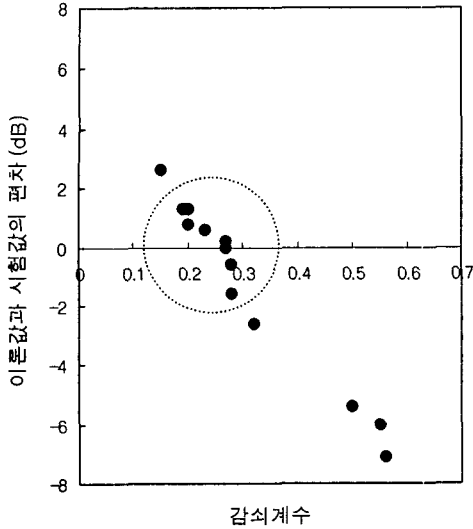


Fig. 2 감쇠계수에 따른 이론값과 시험값과의 편차 (이론값-시험값)

계산결과 저감재의 동탄성계수가 낮은 경우일수록 충격음 차단에 효과적인 것으로 나타났다. 뜬바닥구조를 1자유도 진동계로 가정하고 해석한 이론상의 저감량과 시험값과는 비교적 잘 일치하는 것으로 나타났는데, 저감재들 중 "J"번 째 이상의 것들은 이론값과 시험값 사이의 오차가 상당히 많이 발생하고 있다. 해석에 의한 이론값보다 시험값이 더 크게 나타났으며, 이의 원인으로는 감쇠계수가 영향을 미치는 것으로 판단된다. 감쇠계수 0.3 이상을 상회할 경우 공진 주파수 부근에서의 진동진폭은 큰 폭으로 감쇠되는데, 이러한 현상이 저감재의 차단성능에 어떠한 영향을 미치는지는 아직까지 미지수로서 연구해야 할 과제이다. 또한, 감쇠계수 0.15인 "F"번 째 저감재의 경우도 편차가 많이 발생하고 있는데, 공진에 의한 진폭의 감쇠가 미미해 이론값보다도 오히려 시험값이 작게 나온 경우이다.

#### 4. 동탄성계수와 경량충격음 저감량 상관성 평가

실험실 경량충격음 저감량 시험을 위해서 Fig. 3 과 같이 1m×1m 크기로 축소시편을 만들었다. 바

닥슬래브 상부에 저감재를 놓고 그 위에 기포콘크리트 및 모르타르로 구성된 뜬바닥구조를 얹어놓았다. 저감재와 뜬바닥구조 사이의 들뜸현상을 방지하고 면의 일치화를 위해서 저감재 위에 모르타르를 약 2-3mm 두께로 얇게 바른 후 뜬바닥구조를 올려놓았다. 모르타르는 초속경 모르타르를 사용하여 시공 후 4시간 정도의 경화시간을 유지하도록 하였다. 면의 일치화를 유지하는 것은 충격에너지를 시편 전체로 고르게 분포시켜 하부로 전달시키기 위함이다.

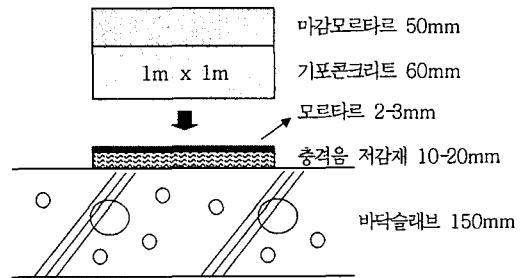


Fig. 3 잔향실 시험용 바닥구조도

Table 4 실험실 경량충격음 저감량 시험결과

충격음 저감재	단위면적당 동탄성계수	저감량(dB)
A	22.6×10 <sup>6</sup>	23.1
B	24.6×10 <sup>6</sup>	21.3
C	25.7×10 <sup>6</sup>	21.8
D	29.1×10 <sup>6</sup>	21.7
E	31.5×10 <sup>6</sup>	20.0
F	38.5×10 <sup>6</sup>	19.8
G	39.9×10 <sup>6</sup>	19.2
H	43.6×10 <sup>6</sup>	19.4
I	48.9×10 <sup>6</sup>	17.9
J	56.0×10 <sup>6</sup>	18.4
K	61.0×10 <sup>6</sup>	17.6
L	71.3×10 <sup>6</sup>	17.3
M	76.9×10 <sup>6</sup>	18.0

충격가진을 할 때 하부 잔향실에서는 3지점에서 주파수별 음압레벨을 측정 후 그 평균값을 취하였다. 먼저 저감재가 없는 상태에서의 음압레벨을 측정 후 저감재가 있는 구조에서의 음압레벨을

감하여 이를 경량충격음레벨 저감량으로 하였다. Table 4에 나타낸 값은 옥타브밴드 중심주파수 125Hz에서 2kHz까지의 5개 주파수에 대해서 산술 평균한 값이다.

경량충격음레벨 저감량과 동탄성계수와와의 상관성을 확인하기 위하여 Fig. 4에 가로축에 저감재 내부의 공기 탄성계수를 포함한 동탄성계수, 세로축에는 옥타브밴드 주파수별 저감량을 산술평균한 값을 도시하였다.

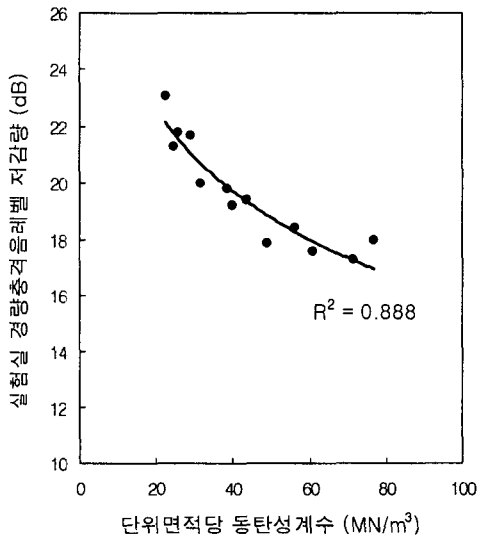


Fig. 4 상관성 분석 그래프

동탄성계수의 증가에 따라 경량충격음 저감량은 큰 폭으로 감소되다가 어느 값부터에서는 거의 변화없이 일정하게 유지되는 지수함수적인 비율로 감소되는 경향을 보이고 있으며 (20~80)×10<sup>6</sup>N/m<sup>2</sup>의 동탄성계수 범위에서 약 5~6dB의 변화가 있음을 알 수 있다. 두 변수들간의 상관성은 그래프상의 추세선(직선회귀선)을 통해 알 수 있으며, 적합도(R<sup>2</sup>)는 0.9(≒0.888)이다. 측정값들 중 추세선에서 오차범위를 벗어나는 것이 있는데, 이는 다음의 세 가지로 추정된다.

첫째, 저감재 자체의 형상에 의한 오차 발생이다. 저감재들 중 하부면이 들기형상으로 되어있어 저감재 내부의 공기 에 의한 탄성계수 계산시 두께요인을 정확하게 반영하지 못한 경우이다. 그래프상에서 중간그룹에 속하는 데이터들에 대한 주원

인이 될 수 있다. 둘째, 저감재 시험편들이 일정한 물성값을 지니고 있지 않아 동탄성계수 시험시 시험편들간의 편차가 크게 발생한 경우로서 측정값의 평균값을 취하기는 했으나, 이 값이 시험편의 대표값을 나타낸다고는 단언할 수 없다. 셋째는 시험상의 오차요인들이 있을 수 있겠다.

실험실에서의 경량충격음레벨 저감량에 대해서 이러한 오차요인이 발생함을 감안하더라도 저감재의 동탄성계수와 경량충격음레벨 저감량 사이에는 일정한 상관관계가 있음을 확인할 수 있다.

## 5. 맺음말

1) 저감재의 동탄성계수에 의해서 뜬바닥구조의 고유진동수를 구할 수 있으며, 이 고유진동수와 일치되는 주파수에서 충격음 차단성능이 저하된다.

2) 뜬바닥구조를 1자유도 진동계로 가정할 때 충격음 저감량이 감쇠계수 0.15 이상, 0.3 이하의 저감재들에 대해서 시험결과와 비교적 잘 일치한다.

3) 감쇠계수 0.3 이상으로 높거나 0.1 정도의 낮은 저감재들에 대해서는 차단성능의 이론값과 시험값이 상이하여 이러한 저감재들에 대해서는 차단성능 평가시 동탄성계수와 아울러 감쇠계수를 반드시 고려하여야 한다. 그러나, 그 상관성은 확실하게 정의할 수 없다.

4) 실험실에서의 경량충격음레벨 저감량과 동탄성계수와의 상관성 분석결과 동탄성계수가 커질수록 저감량은 낮아지는데 그 관계는 지수함수적으로 감소된다.

## 참고문헌

- 1) 日本建築學會, 建物の 遮音設計資料, 技報堂出版, p.171
- 2) 日本音響材料協會, 騒音振動對策 핸드북, p.366
- 3) LEO L. BERANEK, Noise and Vibration Control, p.412